



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

KONSTRUKCE REGÁLOVÉHO ZÁSOBNÍKU

DESIGN OF SHELF MAGAZINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Koutňák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Jan Koutňák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jan Pavlík, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukce regálového zásobníku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte a konstrukčně zpracujte řešení přestavitelného regálového zásobníku pro robotické zakládání materiálu. Zásobník bude sloužit ke skladování tyčových polotovarů s rozměry 2 – 45 mm a délky 80 – 500 mm. Navrhněte vhodnou koncepci jak samotného zásobníku, tak i systémových palet pro orientované uskladnění polotovarů.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Důkladná analýza problematiky.
- 2) Návrh variant řešení a jejich technicko–ekonomické zhodnocení.
- 3) Konstrukční návrh zvolené varianty – 3D model.
- 4) Výpočtová zpráva.
- 5) Výkresová dokumentace vybraných uzlů.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, J.E., Ch.R. MISCHKE a R.G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. Brno: Naladatelství VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se věnuje konstrukci regálového zásobníku s robotickým zakládáním materiálu. První část práce se zabývá skladováním polotovarů a robotickou manipulací. Druhá část se skládá z výpočtové zprávy a návrhu konstrukce zásobníku v CAD softwaru. Přílohou je výkres sestavy zakladače palet.

ABSTRACT

This bachelor's thesis is dedicated to design of shelf magazine with robotic material deposition. The first part is focused on semi-finished product storage and robotic manipulation. The second part contains calculations and design of shelf magazine in CAD software. The pallet stacker assembly drawing is attached.

KLÍČOVÁ SLOVA

Regálový zásobník, robotická manipulace, skladování polotovarů, automatizované skladování, zakladač palet

KEYWORDS

Shelf magazine, robotic manipulation, semi-finished product storage, automated storage, pallet stacker

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUTŇÁK, J. *Konstrukce regálového zásobníku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval Ing. Janu Pavlíkovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce a odborné konzultace, které mi byly v průběhu zpracování umožněny. Děkuji také rodině za podporu během celé doby studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Pavlíka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23. května 2018

.....
Koutňák Jan

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	SKLADOVÁNÍ POLOTOVARŮ	17
2.1	Vlastnosti a parametry skladovaných polotovarů	17
2.2	Palety pro uskladnění polotovarů	18
2.3	Konstrukční řešení palet	19
3	ROBOTICKÉ ZAKLÁDÁNÍ MATERIÁLU	21
3.1	Koncové efekторы pro manipulaci s materiálem	21
3.2	Typy mechanických efektorů	21
3.2.1	Paralelní chapadla	22
3.2.2	Tříbodová chapadla	22
3.2.3	Úhlová a radiální chapadla	23
3.3	Vybrané efekторы pro manipulaci s materiálem	24
3.3.1	Volba typu mechanických efektorů	24
3.3.2	Varianty použití mechanických efektorů	24
3.4	Automatická výměna koncových efektorů	25
3.5	Automatické měření polotovarů	26
4	VARIANTY REGÁLOVÉHO ZÁSOBNÍKU	27
4.1	Zástavbový prostor	27
4.2	Varianta 1 – vertikální karuselový zásobník	28
4.3	Varianta 2 – vertikální výtahový zásobník	29
4.4	Vyhodnocení variant	30
4.4.1	Prostor pro manipulaci	30
4.4.2	Vertikální karuselový zásobník	31
4.4.3	Vertikální výtahový zásobník	32
4.4.4	Vyhodnocení kritérií	33
4.4.5	Závěrečné hodnocení:	33
5	KONSTRUKCE VYBRANÉ VARIANTY	35
5.1	Silový rozbor	36
5.2	Lineární vedení	37
5.3	Vertikální pohyb zakladače palet	38
5.3.1	Ozubený hřeben	38
5.3.2	Servomotor	38
5.3.3	Planetová převodovka	39
5.4	Posuv palet	39
6	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	41
6.1	Výpočet ceny	41
6.2	Porovnání s nabídkou od firmy Kardex	43
7	ZÁVĚR	45
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	47
9	SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A SYMBOLŮ	49
9.1	Seznam tabulek	49
9.2	Seznam obrázků	49
9.3	Seznam symbolů	50
10	SEZNAM PŘÍLOH	51

1 ÚVOD

Skladovací systémy jsou dnes nedílnou součástí automatizovaných výrobních procesů. Jejich hlavním úkolem je co nejrychleji zajistit požadovaný přísun materiálu tak, aby byla výroba plynulá a nedošlo k její zpomalení nebo zastavení z důvodu nedostatečných skladových zásob. Proto je nezbytné, aby zásobníky polotovarů byly automatizovány na stejné úrovni jako jiné části výrobního procesu. Tím je možné dosáhnout vyšší efektivity výroby, lepšího přehledu nad skladovými zásobami, nepřetržitého provozu a snížení provozních nákladů. Důležitým aspektem je také co nejlepší využití prostoru, v čemž spočívá další výhoda skladovacích zařízení. Umožňují totiž použití koncepcí, které by jinak nebyly realizovatelné.

Hlavním cílem této bakalářské práce je navrhnout regálový zásobník pro uskladnění tyčových polotovarů různých průměrů a délek. Zásobník musí tvořit dohromady s robotem funkční pracoviště pro manipulaci s materiálem, které musí být plně automatizované. To je třeba zohlednit při volbě vhodné koncepce zásobníku. Protože mají tyčové materiály různé průměry a délky, musí být vždy umožněn přístup ke konkrétnímu polotovaru. Vybraný polotovar je přesunut robotem s vhodným koncovým efektozem na místo, kde je nařezán a případná nevyužitá část se vrátí zpět do zásobníku. Z tohoto důvodu je potřeba, aby byl materiál uskladněn s jednoznačnou polohovou orientací.

Tato práce má dvě hlavní části. První se zabývá problematikou skladování, manipulace a koncepcemi regálového zásobníku. Její podstatou je získání informací z dostupných zdrojů, pochopení vzájemných souvislostí a nalezení vhodného technického řešení. Výstupem je koncepce zásobníku, která odpovídá požadovaným parametrům. Druhá část je věnována samotné konstrukci. Jedná se zejména o výpočty, výkresy a 3D model zásobníku, který koncepčně vychází z části první.

2 SKLADOVÁNÍ POLOTOVARŮ

Při návrhu regálového zásobníku a dalších prvků robotizovaného pracoviště je třeba vycházet z parametrů skladovaného materiálu. Sběr informací a jejich rozbor je důležitým předpokladem k sestavení návrhu. Údaje by měly být shromažďovány o každém manipulovaném kusu samostatně. V tomto konkrétním návrhu je díky vzájemné podobnosti všech polotovarů možné využít dvou zjednodušení. [1]

- 1) Všechny polotovary mají stejný geometrický tvar, liší se pouze jejich rozměry. Z toho vyplývá jednoznačná závislost mezi velikostí a některými parametry.
- 2) Skladovaným materiálem jsou slinuté karbidy. Ty mohou mít sice při detailním pohledu odlišné vlastnosti, ale naprostá většina rozdílů je z hlediska skladování a manipulace nepodstatná.

Tyto skutečnosti umožňují využívat při návrhu místo jednotlivých hodnot jejich rozsahy. Některé vlastnosti budou naopak pro všechny kusy společné. Tímto přístupem bude zajištěna univerzálnost celého řešení.

2.1 Vlastnosti a parametry skladovaných polotovarů

Skladovaným materiálem jsou tyče ze slinutých karbidů kruhového průřezu. Ty jsou určeny jako polotovar pro výrobu obráběcích nástrojů. Tyto materiály mají zaručenou vysokou pevnost a tvrdost. Z tohoto hlediska nevyžadují žádné speciální požadavky na uskladnění. Magnetické vlastnosti jsou dány obsahem feromagnetických složek, takže se mohou u jednotlivých kusů značně lišit. [2]

Průměr tyčí je 2–45 mm a délka 80–500 mm. Jejich měrná hmotnost se pohybuje mezi 4,9 až 15,7 g/cm³ v závislosti na chemickém složení. Z toho vyplývá, že jeden polotovar váží mezi 1,2 g až 12,5 kg. Při skladování může dojít k jejich libovolné kombinaci, takže z hlediska manipulace, maximálního zatížení a naplnění kapacity regálu je pro návrh důležitý zejména polotovar Ø45-500 o hmotnosti 12,5 kg. [2]

V rámci tohoto rozsahu je však možné předpokládat, že s některými polotovary bude potřeba manipulovat častěji. To je dáno výrobním programem, ve kterém je nejběžněji používán průměr polotovaru 6-26 mm. Ostatní průměry se používají méně. Polotovary je tedy možné rozdělit podle průměru do čtyř skupin podle tabulky 1.

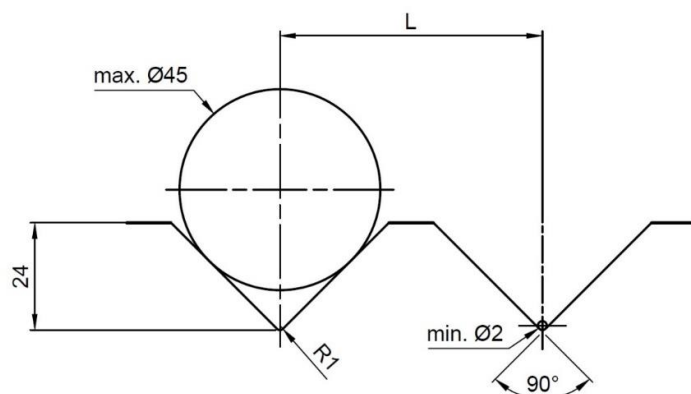
Tab 1) Rozdělení polotovarů podle požadavků výroby

Název řady	Průměr polotovaru [mm]	Hmotnost polotovaru [g]
Malá	2-5	1,2–154
Střední	6-22	11–2 980
Velká	23-45	163-12 480
Celková	2-45	1,2–12 480

2.2 Palety pro uskladnění polotovarů

Jedním z konstrukčních požadavků zásobníku je polohové a orientované zakládání materiálu. Tím bude vždy zajištěna jednoznačná poloha a orientace konkrétního polotovaru. To je nutné zejména proto, že robot musí být schopen ze zásobníku vytáhnout jakýkoliv polotovar na základě příkazu řídicího systému. Ten bude na základě algoritmu počítat, který naskladněný polotovar je nejvhodnější v danou chvíli použít do výrobního procesu. Právě díky orientovanému uskladnění bude mít v databázi uloženo, kde se tento konkrétní kus nachází.

Důležitou vlastností palet je jejich univerzálnost. Musí být vytvořeny tak, aby mohly nést libovolnou kombinaci průměrů a délek polotovarů. Z tohoto pohledu je výhodné použití prizmatické drážky, protože jakýkoliv průměr bude mít totožnou vertikální osu. Na obr. 1 je zpracován schématický návrh pro konkrétní rozměry s vyobrazením maximálního a minimálního průměru polotovaru. Hodnota vzdálenosti L je závislá na potřebném prostoru pro manipulaci s materiálem koncovým efektem a rovnoměrném rozdělení drážek po celé délce palety.



Obr. 1) Návrh provedení prizmatického drážkování

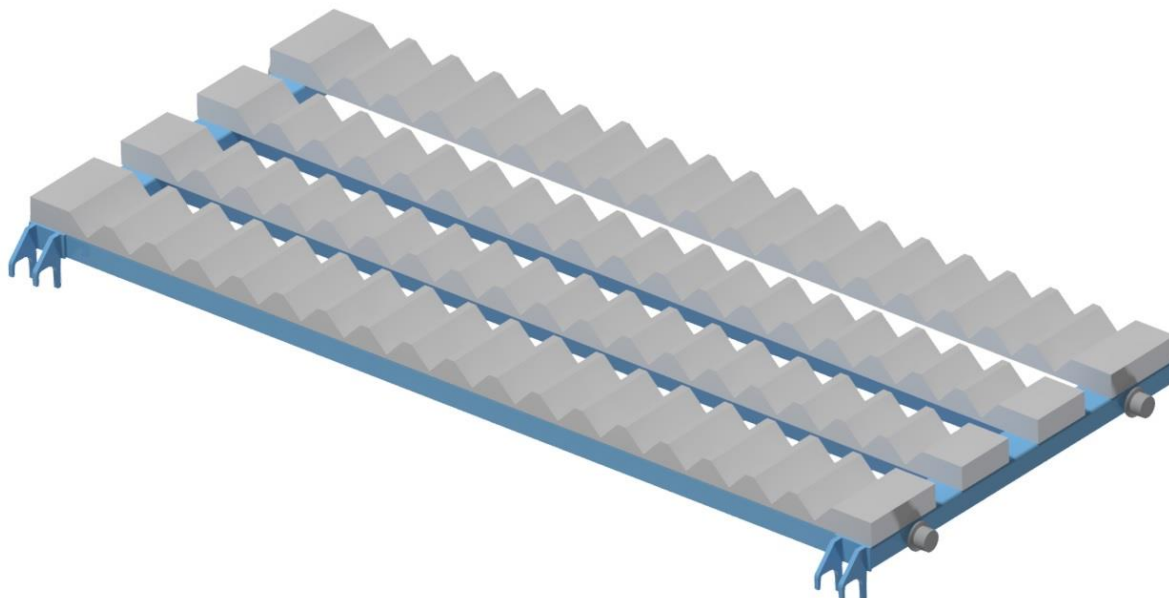
Druhou možností je vytvoření tří palet s jinými rozměry přizpůsobenými rozměrovým řadám podle předchozí kapitoly. To zvýší využití skladovacího prostoru. Palety lze navrhnout tak, aby je bylo možné v regálu měnit podle aktuálních potřeb. Na obr. 2 jsou vyobrazeny všechny tři palety pro rozměrové řady i s univerzální paletou.

Řady palet			
Malá	Střední	Velká	Univerzální

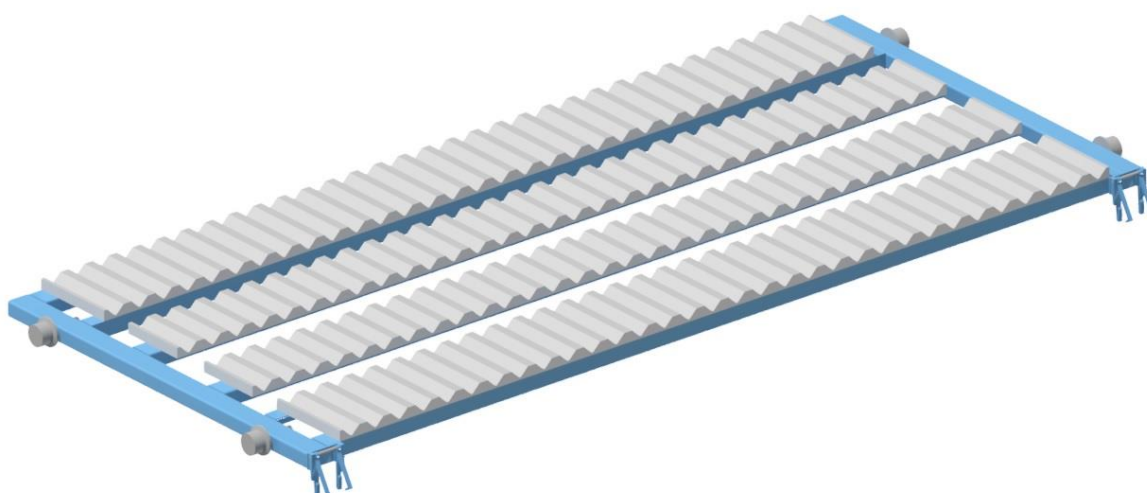
Obr. 2) Profily palet pro všechny rozměrové řady

2.3 Konstrukční řešení palet

Palety všech rozměrových řad jsou navrženy k výměně bez dodatečných konstrukčních úprav regálového zásobníku. Různá drážkování jsou montována na dva typy rámců, které zajišťují dostatečnou tuhost pro dané zatížení při odpovídající prostorové náročnosti. Větší rám je určen pro velkou a univerzální řadu (obr. 3), menší pro malou a střední (obr. 4).



Obr. 3) Velký rám s drážkováním pro celkovou řadu



Obr. 4) Malý rám s drážkováním pro střední řadu

3 ROBOTICKÉ ZAKLÁDÁNÍ MATERIÁLU

V přechozí kapitole bylo rozebráno zejména uskladnění polotovarů. V návaznosti na ni se bude tato část věnovat samotné manipulaci. Prvním cílem této kapitoly je vytvoření přehledu o použitelných koncových hlavicích robota, které mohou zajišťovat přesun materiálu v řešené části výrobního procesu. V další části je rozebrána problematika zjišťování polohy a rozměrů polotovaru pomocí senzorických systémů.

3.1 Koncové efekторы pro manipulaci s materiálem

Pro dopravu tyčových polotovarů mezi zásobníkem a pracovištěm, která bude realizována robotem, je třeba navrhnout vhodný koncový efektor. Ten musí být použitelný pro všechny průměry. Druhou možností může být kombinace více automaticky vyměnitelných efektorů tak, aby byl pokrytý celý rozsah průměrů. Jeden univerzální efektor je jednodušším řešením, protože při jeho použití nebude docházet k jeho výměně. Použitím výměnných efektorů je možné proces lépe optimalizovat pro rozsahy průměrů podle rozdělení v kapitole 2.1.

Z hlediska charakteru úchopné síly mezi efektořem a přenášenými objekty můžeme efekторы rozdělit do tří následujících skupin:

- **mechanické:** Objekt je držen úchopnou silou vyvolanou kontaktem s čelistmi. Existují různé varianty provedení, které jsou pro polotovary kruhového průřezu použitelné. Výhodná je zejména univerzálnost pro různé průměry.
- **magnetické:** Úchopnými prvky jsou magnety, což vyžaduje feromagnetický materiál přenášeného objektu. U různých druhů slinutých karbidů není možné toto řešení použít.
- **podtlakové:** K vytvoření síly dochází po přitlačení přísavky. Toto řešení ale není realizovatelné, protože vyžaduje rovný a kvalitní povrch. [3]

Vzhledem k tomu, že jediným vhodným řešením pro tuto konkrétní aplikaci je mechanické vyvození úchopné síly, bude se další část podrobněji zabývat pouze touto variantou.

3.2 Typy mechanických efektorů

V této skupině existuje několik provedení úchopových hlavic. Každý z typů má specifické možnosti použití. Prvním výběrovým kritériem je způsob uchycení polotovaru. Ten může být uchycen v zásadě rovnoběžně nebo kolmo k jeho ose. Zde hraje velkou roli, jakým způsobem je vkládán a odebírán z palety a pracoviště. Následující volba z katalogu výrobců závisí na požadovaných parametrech. Těmi jsou zejména nosnost, uchopovací síla a rozsah posuvu uchopovacích čelistí.

3.2.1 Paralelní chapadla

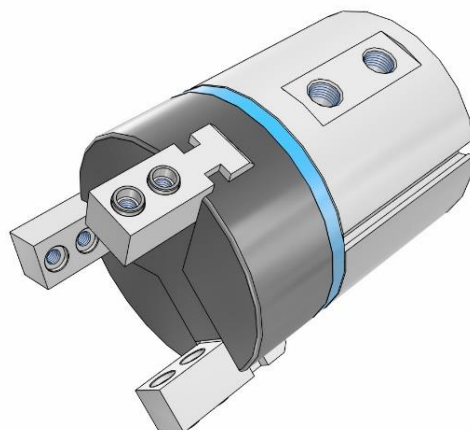
Jedná se o chapadla s vysoce univerzálním použitím. Na trhu jsou výrobci nabízena v několika typových řadách, v jejichž rámci je možné volit specifikaci, která je nejvhodnější pro danou aplikaci. Jsou vytvořena tak, aby na ně mohly být přidělaný podle potřeby vyrobené koncovky. Ty se pohybují symetricky vůči středu a umožňují různá rozevření. Tím je možné docílit použití jednoho efektoru pro více průměrů polotovarů. Jejich tvarováním je potom dána styková plocha se součástí. Upínání polotovaru je možné po celé jeho délce. Nejvhodnějším místem je však upnutí přímo v jeho těžišti, protože je součást v momentové rovnováze bez působení momentu chapadla. Koncovky musí mít tvarové plochy pro uchycení větších polotovarů, aby byla zajištěna jejich poloha. Na obr. 5 jsou dvě varianty řešení s využitím paralelního chapadla řady PGN-plus od firmy SCHUNK. [4]



Obr. 5) Paralelní chapadlo řady PGN-plus [4]

3.2.2 Tříbodová chapadla

Další možností pro uchopování rotačních součástí jsou tříbodová chapadla (viz obr. 6). Tento upínací systém zajišťuje, že po sevření bude polotovar vždy přesně v ose koncového efektoru. Hlavní odlišností od předchozího typu je místo upnutí. Zde je možné upínat polotovar pouze na jeho koncích. To vyžaduje jiný přístup efektoru do regálového zásobníku a způsob paletizace. [5]



Obr. 6) Tříbodové chapadlo DHDS od firmy FESTO [5]

Při využití této varianty není možné použít pouze jednu hlavici. Pokud by totiž měla být jenom jedna, musí mít 25 milimetrů rozsah posuvu koncovek. Takové možnosti sice někteří výrobci nabízejí, ale odpovídající efektor je neúměrně velký polotovaru. Dalším problémem toho řešení by byl návrh samotných koncovek. Není z konstrukčního hlediska reálné, aby svíraly vnitřní průměr 2-45 milimetrů. Řešení je tedy realizovatelné pouze při použití více vzájemně výměnných efektorů.

3.2.3 Úhlová a radiální chapadla

Tato skupina chapadel umožňuje upínání polotovarů podobně jako chapadla paralelní, tedy po celé délce kolmo k jejich ose. Rozdíl je ale ve způsobu rozevírání čelistí. Ty se vůči sobě nepohybují, ale otáčejí se kolem středu jejich uchycení. Radiální chapadla mají pohon zajišťující rotaci kolem osy. U úhlových chapadel (obr.7) je rozevření realizováno lineárním pohybem rozvracího členu. Z tohoto důvodu se zde neudává rozpětí rozevření čelistí, ale rozsah úhlu rozevření. [6]

Použití těchto typů chapadel není pro splnění požadavků návrhu vhodné. Konstrukce koncovek se totiž provádí zejména pro upnutí jednoho konkrétního průměru. Z tohoto důvodu není jejich použití možné u takového rozsahu průměru součástí, jak je v tomto případě potřeba.



Obr. 7) Úhlové chapadlo řady SGB od výrobce SCHUNK [6]

3.3 Vybrané efektory pro manipulaci s materiálem

Tato kapitola se na základě předchozích poznatků věnuje výběru koncových efektorů tak, aby splňovaly všechny požadované parametry a zároveň umožňovaly efektivní manipulaci s polotovary.

3.3.1 Volba typu mechanických efektorů

Z chapadel, která jsou vhodná pro využití v tomto konkrétním případě, je nutné vyloučit chapadla úhlová a radiální. Důvodem jsou relativně malé možnosti jejich přizpůsobení pro různé průměry, což by znamenalo příliš mnoho výměnných efektorů. Kromě toho nemají v této aplikaci žádnou jinou výhodu, kterou by mohly oproti ostatním typům nabídnout.

Lepší variantou jsou chapadla tříbodová. To by sice také znamenalo nutnost použití více výměnných efektorů, ale pro polotovary kruhového průřezu umožňují poměrně velký rozsah sevření. Problém jejich aplikace ale souvisí se systémovými paletami pro uskladnění materiálu, které byly popsány v kapitole 2. Tímto problémem je způsob, jakým je polotovar uchycen do efektoru, tedy rovnoběžně s osou na jeho konci. Tato skutečnost neumožňuje efektorům tohoto typu manipulaci s materiálem uskladněným na navržených paletách.

Velmi dobrou variantou je použití chapadel paralelních. Ty totiž umožňují realizovat manipulaci nejen kombinací výměnných efektorů, ale také jedním univerzálním efektozem pro celý rozsah průměrů polotovarů. Zároveň jejich konstrukce umožňuje orientované zakládání polotovarů do palet. Z těchto uvedených důvodů lze využití paralelních chapadel vyhodnotit jako nejlepší řešení.

3.3.2 Varianty použití mechanických efektorů

Jak už bylo zmíněno v předchozích kapitolách, manipulaci lze řešit buď jedním nebo více koncovými efekty. Hlavní předností použití více efektorů je lepší přizpůsobení manipulační úlohy ke konkrétním rozměrovým řadám. Z toho potom vyplývá větší využití skladovacího prostoru. Naopak jeden univerzální efektor potřebuje více místa k pohybu a tím je tento prostor méně využitý. U něj ale zase nedochází k výměně, tak celý proces se tímto značně zjednoduší.

Hlavní rozhodující kritérium pro zhodnocení obou variant vychází z požadavků výroby. Pokud jsou všechny průměry polotovarů využívány přibližně stejně často a v náhodném pořadí, tak je lepší použít řešení s jedním efektozem. Pokud je ale s určitou rozměrovou řadou manipulováno častěji tak, jako je tomu v tomto případě, potom je efektivnější použít více výměnných efektorů. V tab. 2 je navrženo řešení třemi výměnnými chapadly z nabídky firmy SCHUNK podle jednotlivých rozměrových řad a také jedním univerzálním efektozem pro všechny polotovary.

Tab 2) Vybrané koncové efekty od výrobce SCHUNK [4]

Průměrová řada	Označení efektoru	Maximální rozevření čelistí	Doporučená váha polotovaru
Malá (Ø 2-5 mm)	PGN-plus 50-1	8 mm	0,7 kg
Střední (Ø 6-22 mm)	PGN-plus 125-1	26 mm	5,4 kg
Velká (Ø 23-45 mm)	PGN-plus 160-1-KVZ	32 mm	16 kg
Celková (Ø 2-45 mm)	PGN-plus 200-1	50 mm	13,5 kg

3.4 Automatická výměna koncových efektorů

Při zvolení varianty vybavit robot více výměnnými efektory je třeba navrhnout, jak bude tento výměnný proces realizován. Výrobci efektorů proto nabízejí různé systémy, které automatickou výměnu jejich montáží mezi koncovku robota a efektor umožňují.

Automatická výměna nástrojů zajišťuje, že robot dokáže reagovat na rozměrovou změnu manipulovaných objektů bez přerušení provozu, což zvyšuje jeho využitelnost. Podle programu provede robot upnutí požadovaného koncového efektoru. Nevýhodou aplikace tohoto systému jsou vyšší pořizovací náklady a zvýšené riziko závady. Aby bylo možné jednoduše měnit efekty mezi sebou, musí být robot k tomuto účelu vybaven výměnným systémem. Ten se skládá ze dvou částí: speciální spojovací příruby, která je trvale připevněna ke koncovému členu robota a příruby efektoru připevněné k jednotlivým nástrojům. Nástroje se potom nacházejí v řadovém nebo kruhovém účelovém zásobníku. [7]

K vybraným koncovým efektorům z předchozí kapitoly jsou přímo výrobcem SCHUNK nabízena různá řešení výměnných systémů. Z této nabídky je vhodný například pneumaticky ovládaný systém GWS-064 vyobrazený na obr.8, který umožňuje manipulaci se zátěží až 60 kg. Celý systém je navržen univerzálně tak, aby jej bylo možné spojit pomocí adaptérů s různými efekty. [8]



Obr. 8) Pneumatický výměnný systém GWS [8]

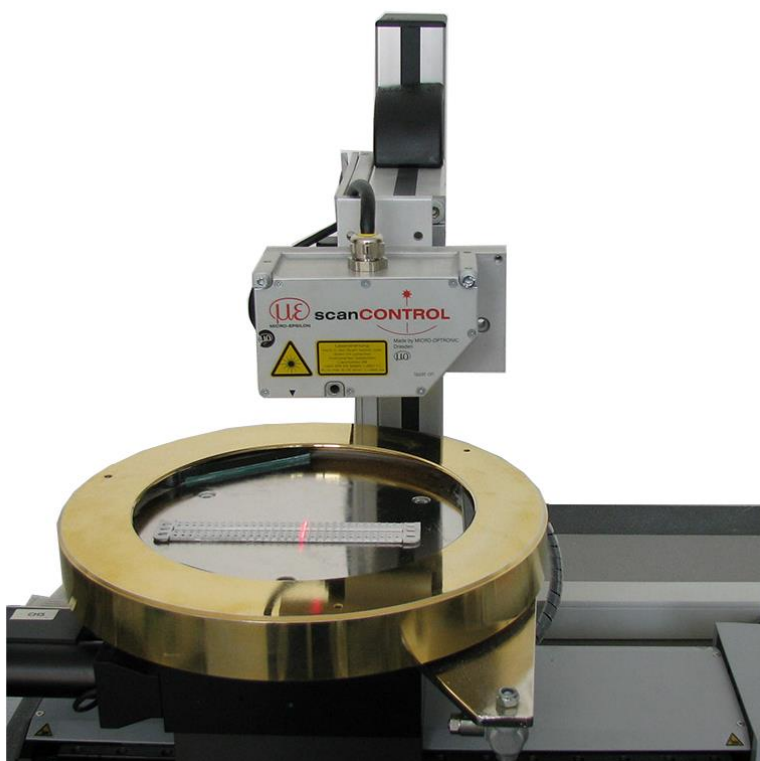
3.5 Automatické měření polotovarů

Pro kontrolu manipulace a potřeby výrobního procesu je potřeba do automatizovaného pracoviště zařadit také systém, který umožňuje měření polotovarů. Požaduje se přitom dostatečná přesnost a rychlost měření. Do celého pracoviště musí být zařazen tak, aby fungoval jako kontrolní prvek mezi uskladněním a výrobou. Pokud nastane chyba a polotovar z regálového zásobníku nebude odpovídat požadavkům výroby, musí být proces přerušen. Tím lze včas zabránit případným rizikům.

Výběr měřících zařízení se odvíjí od měřených veličin, podle kterých se bude polotovar kontrolovat. V našem případě závisí volba měřených veličin na požadavcích výroby. Měřené veličiny mohou být zejména následující:

- **Rozměry:** Jedná se o měření významných lineárních rozměrů objektu. V tomto případě o délku polotovaru.
- **Průměr:** Průměr polotovaru může být při známé poloze středu měřen pouze jedním snímačem. Pokud není střed známý, je třeba použít dva snímače.
- **Profil:** Při měření profilu objektu jsou naměřená data vyhodnocena na základě srovnání s ideálními konturami. [9]

Celkové bezkontaktní měření polotovarů (obr.9), které je v tomto případě z hlediska požadavků výhodnější než kontaktní, se provádí měřícími přístroji vybavenými konfokálním snímačem, bodovým laserovým snímačem nebo laserovým skenerem. Při použití laserových snímačů je možné měřit i profil povrchu. Laserové skenery generují soubor bodů, který je přenesen do softwaru a poté může být porovnán s ideálním počítačovým modelem. [10]



Obr. 9) Měření dílu snímačem od firmy Micro-Epsilon [9]

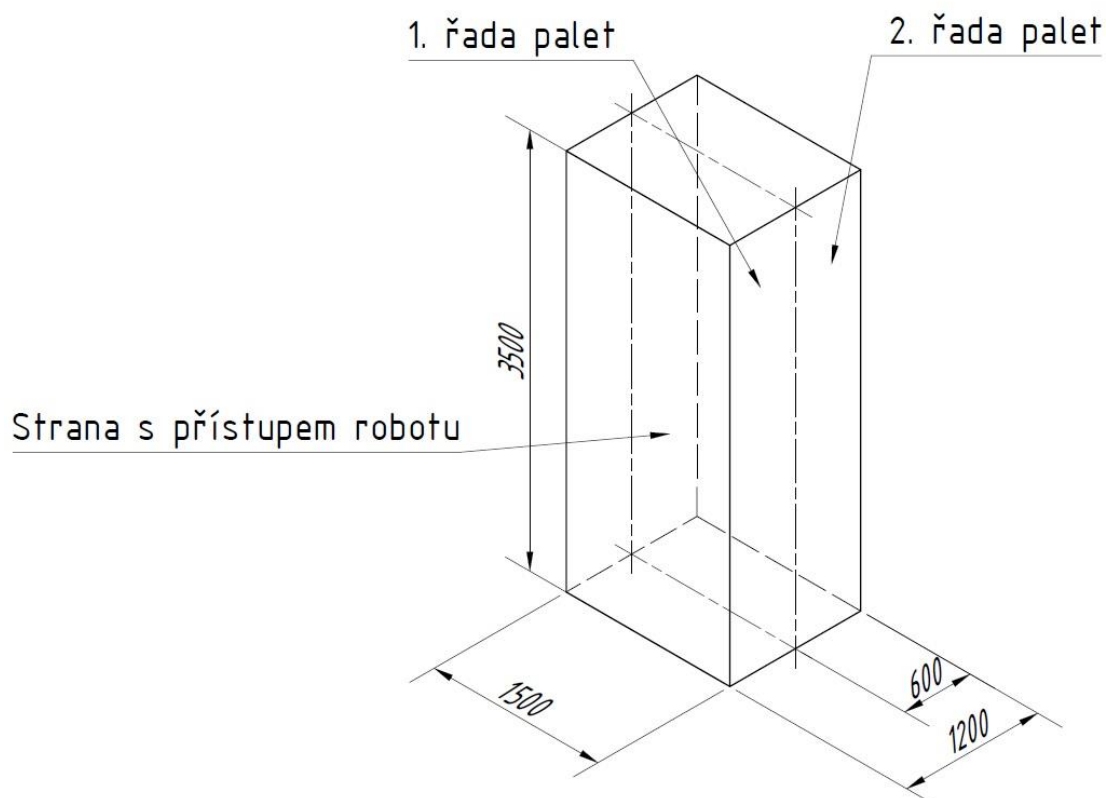
4 VARIANTY REGÁLOVÉHO ZÁSOBNÍKU

Tato kapitola se věnuje návrhu koncepčního řešení regálového zásobníku. Jejím cílem je navrhnout možné varianty řešení podle požadavků zadání při uvážení všech souvislostí, které byly rozebrány v předchozích částech práce. Z těchto variant je potom vyhodnoceno vhodnější řešení na základě vzájemného porovnání. Podle vybrané koncepce je v další části zásobník zkonstruován.

4.1 Zástavbový prostor

Při výběru koncepce je potřeba nejprve určit základní rozměry regálového zásobníku. Ty vycházejí ze zástavbového prostoru, který je pro samotný zásobník v rámci automatizovaného pracoviště vymezen. Podle zadání může jeho výška dosahovat až 3,5 m a půdorys ohraničuje obdélník s rozměry přibližně 1,5×1,2 m. Tyto hodnoty jsou důležité nejen pro samotnou konstrukci, ale také pro vyhodnocení vhodnější koncepce.

Z hlediska návrhu je důležité vycházet z toho, že šířka palet musí být kvůli maximální délce polotovarů větší než 0,5 m. V tomto případě je tedy možné prostor rozdělit na dva sloupce o velikosti palet, které dohromady nepřesahují šířku 1,2 m. První ze sloupců leží v pracovním dosahu robotu. Navrhovaná řešení musí odpovídat této prostorové situaci tak, jak je znázorněna na obr. 10.



Obr. 10) Zástavbový prostor

4.2 Varianta 1 – vertikální karuselový zásobník

První možnou koncepcí je vertikální karuselový zásobník (obr.11). Je tvořen policemi, které jsou po obou stranách připevněny k nosnému řetězu. Pohyb je zajišťován elektrickým motorem a přenášen přes ozubené kolo na řetěz. Výkon motoru musí být dimenzován na překonávání hmotnostních rozdílů způsobených odlišným zatížením obou větví. Úhlovým natočením hnacího kola jsou dány polohy jednotlivých polic. Na každé straně polic jsou nosné čepy v jiné poloze vůči středu, aby je bylo možné nerovnoměrně zatěžovat mimo těžiště. [11]

Počet polic v celém zásobníku je dán jejich tloušťkou a mezerami mezi nimi. V tomto konkrétním případě musí být zajištěn dostatečně velký prostor pro manipulaci s materiálem prostřednictvím robotu. Výhodou je využití prostoru v celé jeho šířce dvěma sloupci palet. Zejména na těchto skutečnostech potom závisí efektivita využití prostoru dané koncepce. V zásobníku se nachází výdejní místo určené pro výdej materiálu.



Obr. 11) Vertikální karuselový zásobník [11]

4.3 Varianta 2 – vertikální výtahový zásobník

Jinou variantou je vertikální výtahový zásobník (obr. 12). Palety jsou zde uspořádány v jednom sloupci v relativně nízkých rozestupech mezi sebou. Součástí zásobníku je pohyblivý zakladač, který se pohybuje v celém rozsahu uskladněných palet. Zvolenou paletu poté z regálu celou vysune a přemístí do požadované výšky. [12]

Výhodou takového uspořádání zásobníku je prakticky neomezený prostor pro manipulaci robotu s materiálem. Po vysunutí palety není totiž pohyb robotu ve vertikálním směru nijak omezen. Na druhou stranu ale tento výtahový mechanismus zabírá prostor o šířce palety, takže do celkového prostoru je možno zabudovat pouze jeden sloupec palet. Protože jsou rozestupy mezi paletami v porovnání s předchozí variantou velmi nízké, vejde se do tohoto sloupce palet více.



Obr. 12) Vertikální výtahový zásobník [12]

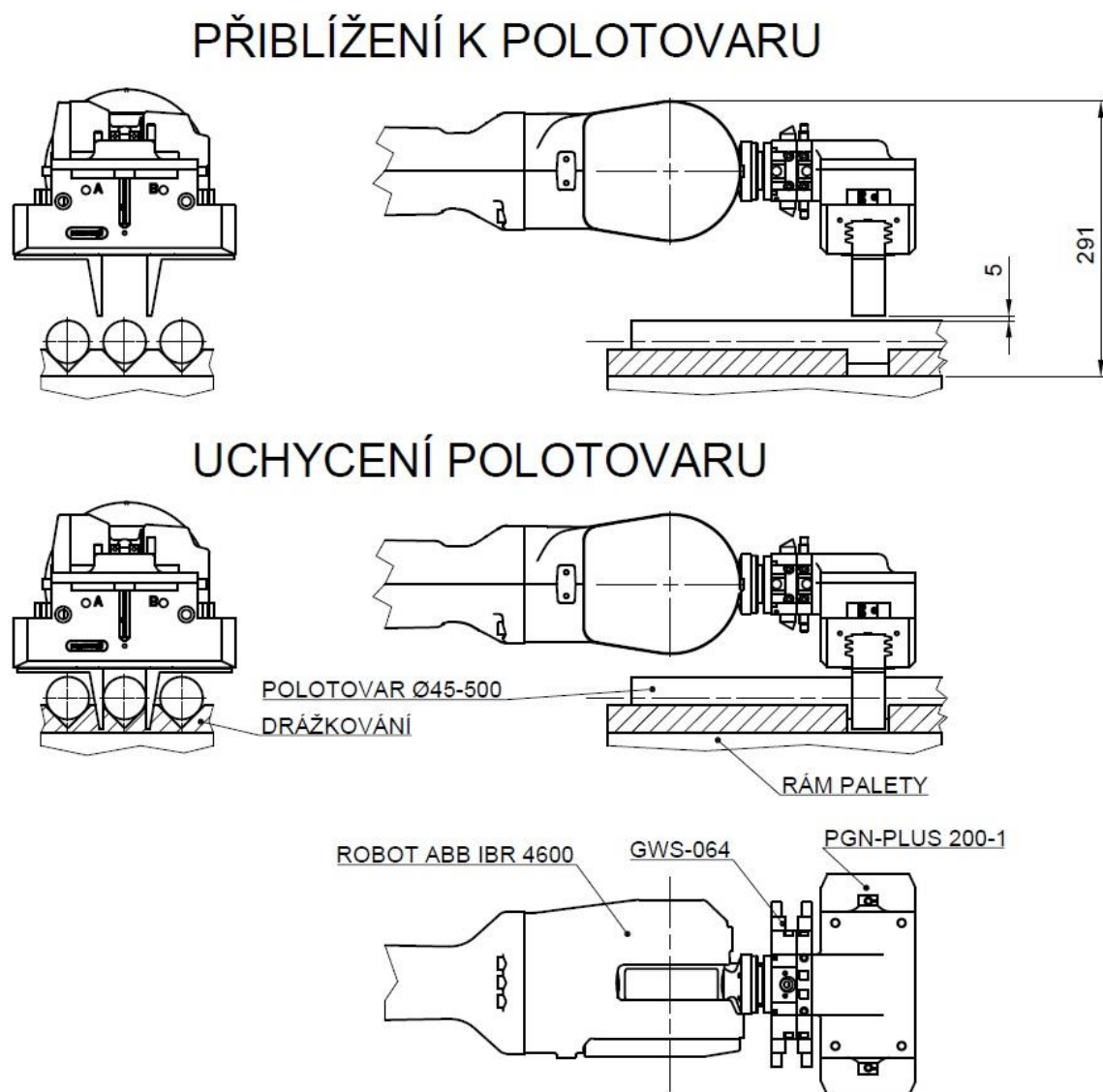
4.4 Vyhodnocení variant

Z předchozích dvou variant je nyní potřeba vybrat vhodnější řešení. Hlavním kritériem při volbě koncepce regálového zásobníku je v tomto případě množství polotovárů, které je možné do zásobníku uskladnit. To je dáno zejména počtem a provedením systémových palet.

Počet palet se dá stanovit vytvořením základního rozměrového návrhu v CAD programu. V případě výtahového zásobníku vychází návrh z jednoho sloupce palet s minimálními vzájemnými mezerami. U karuselového jsou sloupce dva, ale mezery je nutné přizpůsobit rozměrům nezbytným pro manipulaci.

4.4.1 Prostor pro manipulaci

Prostor nutný pro manipulaci je dán koncovým efektem, automatickým výměnným systémem a koncovou částí ramene robotu (obr. 13). K těmto rozměrům je také potřeba uvažovat bezpečnou vzdálenost mezi jednotlivými paletami. Bezpečnostní mezera mezi koncovkami a polotovarem činní 5 mm. Rozstup mezi spodní rovinou drážkování a dalším rámem by měla být minimálně 310 mm.



Obr. 13) Manipulace s polotovarem

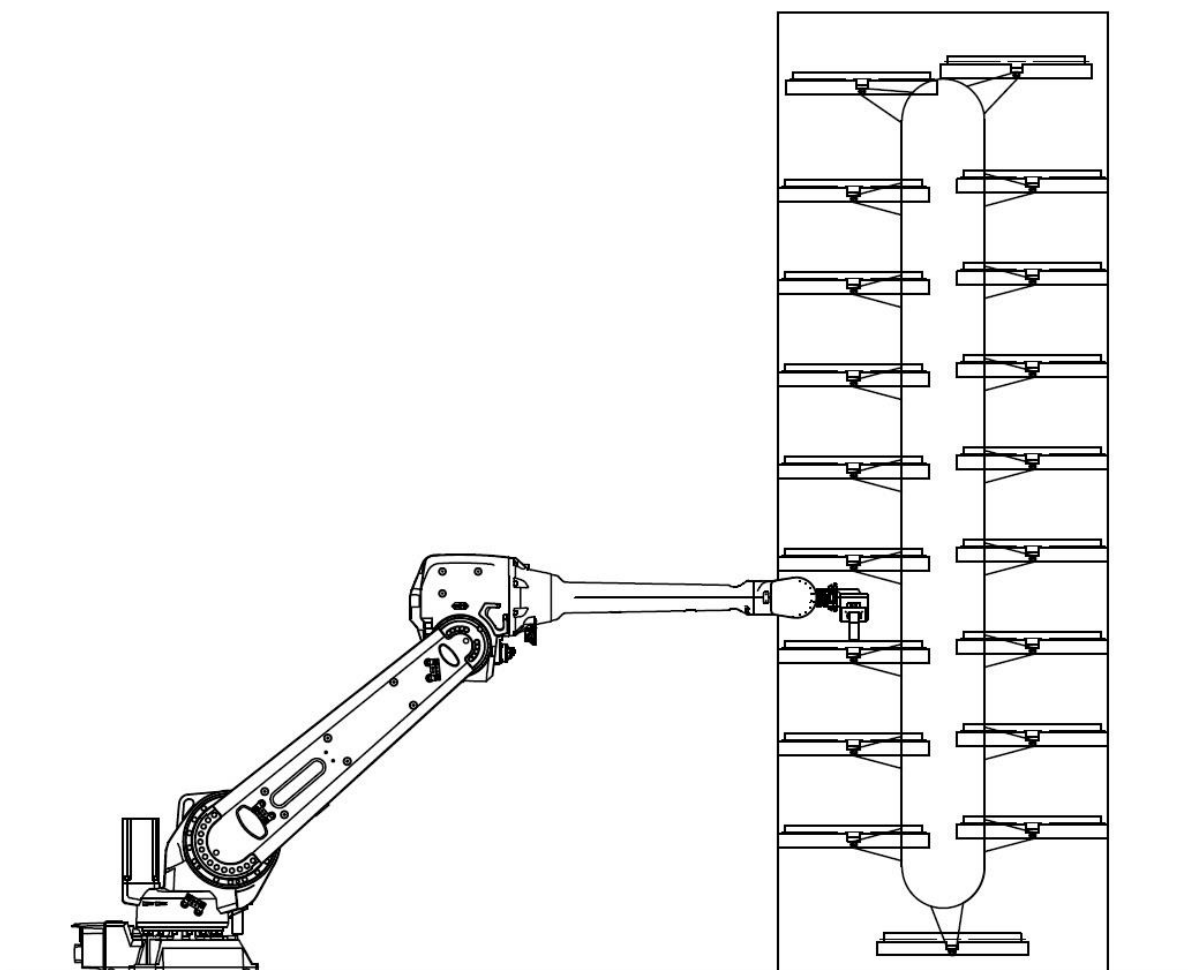
4.4.2 Vertikální karuselový zásobník

Při návrhu karuselového zásobníku jsou mezery mezi jednotlivými paletami dány nejen manipulačními rozměry, ale také zajištěním dostatečného prostoru při přejezdu přes nejvyšší a nejnižší bod tak, aby při pohybu nedošlo k jejich vzájemné kolizi. Při dodržení těchto podmínek je dále možné získat celkový počet palet. Ten je vždy stejný bez ohledu na to, jaká rozměrová řada palet je na nosných čepích namontována.

V programu AutoCAD byl vykreslen základní návrh, který odpovídá všem výše zmíněným požadavkům zadání, zejména zástavbovému prostoru i umožnění manipulace tak, jak je vyobrazen na obr. 14. Důležitou výstupní hodnotou je maximální počet polic. V tomto případě je jich může být až 19.

Návrhové parametry:

- | | |
|------------------------------|--|
| • Skladovací prostor: | 19 palet |
| • Max. manipulační hmotnost: | Dle max. hmotnostního nevyvážení stran |
| • Pohybový mechanismus: | Rotační pohyb motoru
Převod na translační pohyb palet |



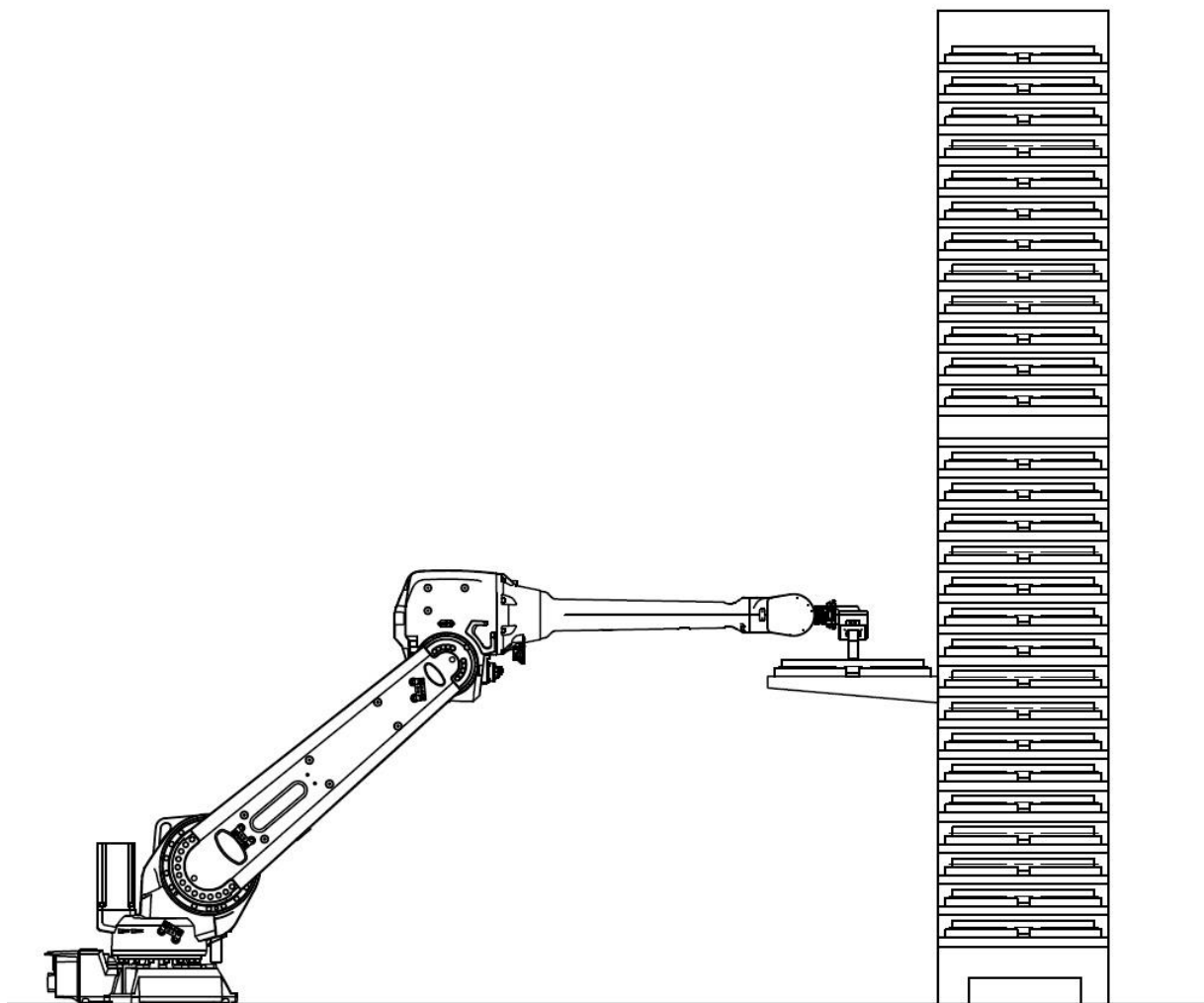
Obr. 14) Schéma vertikálního rotačního zásobníku

4.4.3 Vertikální výtahový zásobník

Na obr. 15 je vyobrazeno schéma výtahového zásobníku. V tomto případě není minimální prostor pro pohyb robotu podstatný. Police jsou totiž vždy pomocí zakladače přemístěny mimo regál do polohy vhodné pro manipulaci. Díky tomu je možné nechávat mezi jednotlivými policemi pouze minimální rozestupy. Předpokládaný možný počet největších palet je 28. Při použití menších palet jich může být uskladněno i více, pokud na to bude zásobník konstruován.

Návrhové parametry:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| • Skladovací prostor: | 28 velkých palet |
| • Maximální manipulační hmotnost: | Dle max. hmotnosti jedné palety |
| • Pohybový mechanismus: | Horizontální pohyb zakladače
Vertikální posuv palet |



Obr. 15) Schéma vertikálního výtahového zásobníku

4.4.4 Vyhodnocení kritérií

Pro vyhodnocení obou variant je sestavena tabulka následujících kritérií:

- a) **Počet palet:** Hlavní parametr zásobníku, který udává, jaké množství polotovarů je možné uskladnit. U karuselového zásobníku je to 19 palet, u výtahového 28 velkých palet.
- b) **Přestavitelnost:** Možnost přizpůsobovat zásobník aktuálním potřebám výroby. Jedná se zejména o výměnu palet za jinou rozměrovou řadu. Karuselový zásobník umožňuje pouze výměnu jedné palety za jinou její montáží na nosné čepy. U výtahového je výměna jednodušší, protože se dá vyměnit přímo na zakladači. Navíc lze koncepci navrhnout tak, aby se dalo místo jedné velké palety uskladnit dvě menší.
- c) **Manipulace s paletami:** Na přesun palety do dosahu robotu je třeba pohon dostatečně dimenzovat. U výtahového zásobníku vychází potřebný výkon z maximální hmotnosti naložené palety. V případě karuselového se musí překonávat hmotnostní rozdíl mezi větvemi. Na tento největší přípustný rozdíl musí být pohon navržen.
- d) **Pohybový mechanismus:** Pohyb karuselového zásobníku je realizován motorem, který přes převod zajišťuje pohyb palet. U výtahového musí být dva pohony. Jeden na vertikální pohyb zakladače a druhý pro manipulaci s paletami.
- e) **Prostorová náročnost:** V obou případech zabírají zásobníky stejný prostor. Výtahový má sice poloviční šířku, ale zbytek prostoru je vymezen pro pohyb zakladače.

Tab 3) Zhodnocení kritérií¹

Hodnotící kritérium	Váha hodnocení	Rotační zásobník	Výtahový zásobník
Počet palet	10	5	9
Přestavitelnost	8	3	7
Manipulace s paletami	5	5	7
Pohybový mechanismus	5	9	6
Prostorová náročnost	4	7	7
Hodnocení		172	239

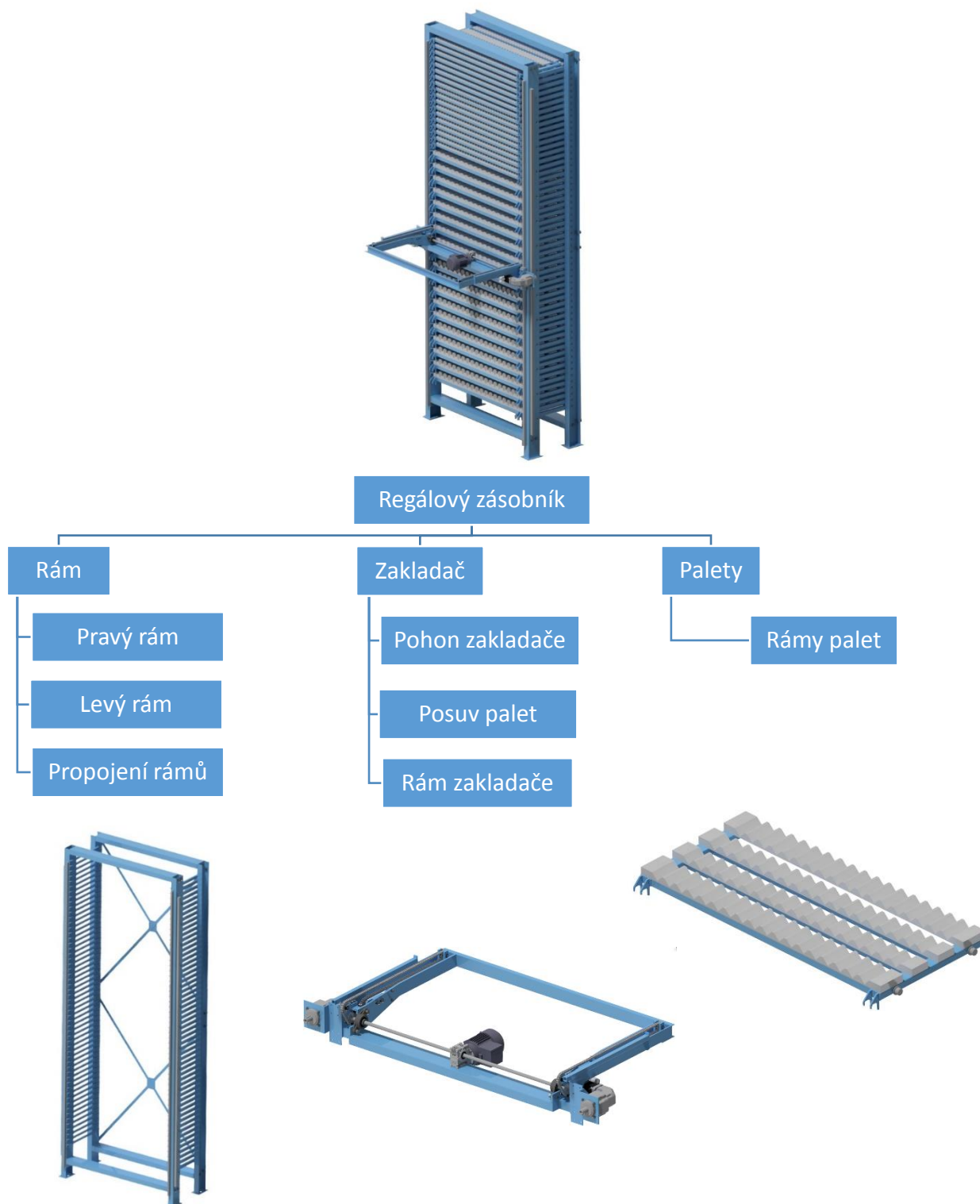
4.4.5 Závěrečné hodnocení:

Z porovnání všech výše uvedených skutečností vyplývá, že lepším koncepčním řešením je vertikální výtahový zásobník. Mezi jeho hlavní přednosti patří zejména vyšší počet uskladnitelných palet, lepší možnost přizpůsobit se momentálním požadavkům a manipulace vždy pouze s požadovanou paletou. V nadcházející části práce je proto podle této koncepce zásobník konstruován.

¹ Stupnice bodování je 0-10 bodů, kde 10 znamená nejlepší hodnocení

5 KONSTRUKCE VYBRANÉ VARIANTY

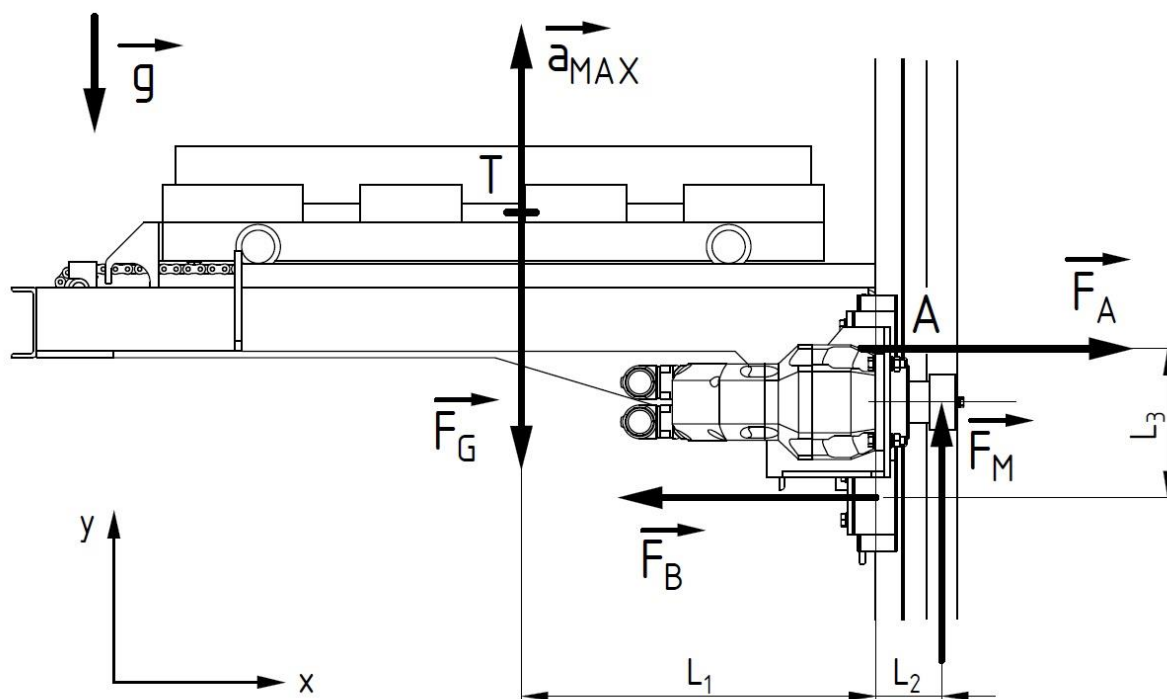
Tato kapitola je věnována návrhu a výpočtům klíčových uzlů, vyskytujících se v konstrukci regálového zásobníku vytvořeném v programu Autodesk Inventor. Jedná se zejména o části související s pohyblivým zakladačem palet. Na obr. 16 je uvedena struktura jednotlivých montážních celků zásobníku.



Obr. 16) Montážní celky regálového zásobníku

5.1 Silový rozbor

Pro výpočty jednotlivých prvků je potřeba stanovit síly, které působí na zakladač. Tento rozbor je řešen při maximálním zrychlení a největším hmotnostním zatížení zakladače. Tento výpočet vychází z Newtonových pohybových zákonů a momentové rovnováhy. Protože je konstrukce zakladače palet symetrická, zjednoduší se tento výpočet na rovinnou úlohu dle obr. 17.



Obr. 17) Schéma sil působících na zakladač

Znamé hodnoty:

Délkové rozměry: $L_1 = 279 \text{ mm}$; $L_2 = 52 \text{ mm}$; $L_3 = 117 \text{ mm}$

Zrychlení: gravitační: $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$; maximální: $a_{\max} = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Hmotnost zakladače (max.): $m_{\max} = 305 \text{ kg}$

Soustava pohybových rovnic:

$$\sum F_x = 0 = F_A - F_B$$

$$\sum F_y = m_{\max} \cdot a_{\max} = F_M - F_G$$

$$\sum M_O = 0 = F_M \cdot L_2 - F_B \cdot L_3 + F_G \cdot L_1$$

Doplňková rovnice:

$$F_G = m_{\max} \cdot g = 305 \cdot 9,81 = 2992 \text{ N}$$

Odvozené rovnice:

$$F_M = m_{max} \cdot a_{max} + F_G = 305 \cdot 0,2 + 2992 = 3053 \text{ N}$$

$$F_B = \frac{F_M \cdot L_2 + F_G \cdot L_1}{L_3} = \frac{3053 \cdot 0,052 + 2992 \cdot 0,279}{0,117} = 8492 \text{ N}$$

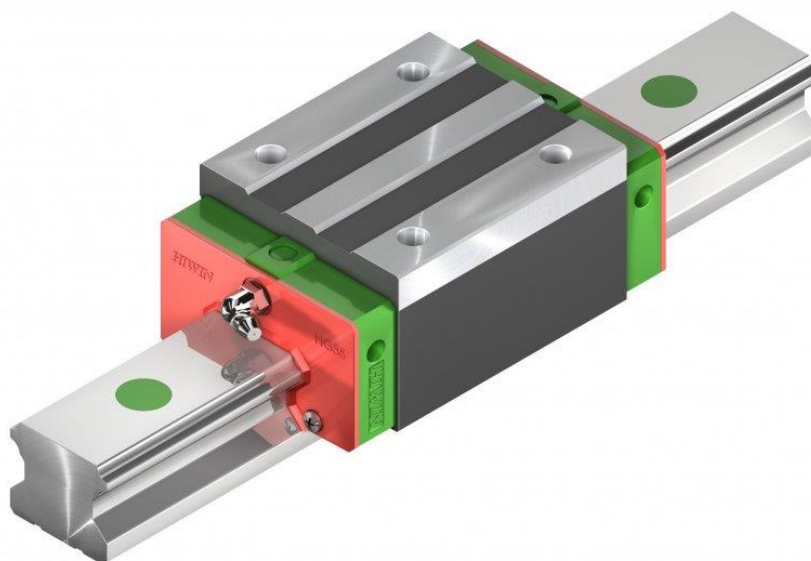
$$F_A = F_B = 8492 \text{ N}$$

5.2 Lineární vedení

Pro zajištění přesného vedení zakladače byly vzhledem ke kompatibilitě s jeho rozměry voleny lineární kuličkové vozíky s vysokou tuhostí a přesností HGH 25 CA v kombinaci s kolejnici HGR 25 T od firmy HIWIN. Výrobce zaručuje správnou funkci při dodržení maximálního dynamického zatížení. [13] Celkem jsou v konstrukčním návrhu použity 4 kusy vozíků, výše vypočtené síly F_A a F_B jsou tedy poloviční. K povolenému zatížení lze vypočítat bezpečnost následujícím způsobem:

$$k_{LV} = \frac{C_{dyn}}{\frac{F_A}{2}} = \frac{C_{dyn}}{\frac{F_B}{2}} = \frac{26480}{\frac{8492}{2}} = 6,2$$

Při této hodnotě bezpečnosti je zaručeno nejen nepřetěžování vedení, ale také jeho dlouhá životnost. Na obr. 18 je vyobrazen zvolený vozík typu HGH.



Obr. 18) Kuličkové lineární vedení HGH od firmy HIWIN [13]

Vedení musí být na konci dráhy opatřeno koncovými spínači, aby byla během provozu zajištěna bezpečnost proti vyjetí vozíku z kolejnice. Ke kalibraci polohy zakladače musí být také vhodně umístěn referenční snímač.

5.3 Vertikální pohyb zakladače palet

5.3.1 Ozubený hřeben

K převodu rotačního pohybu hnací hřídele motoru na přímočarý pohyb zakladače jsou na přední části rámu připevněny dva ozubené hřebeny, které jsou v kontaktu s ozubenými koly na výstupních hřídelích z převodovky. Z katalogu firmy Güdel je zvolen hřeben s ozubením s přímými zuby a pastorek s dvaceti zuby a roztečným průměrem $d_p = 40\text{mm}$. Dovolené zatížení ozubení je 5958 N. [14]

Kontrola ozubení:

$$k_o = \frac{F_{Do}}{\frac{F_M}{2}} = \frac{5958}{\frac{3053}{2}} = 3,9$$

5.3.2 Servomotor

Pro zajištění pohybu zakladače rychlostí až $0,3\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a jeho přesného polohování jsou použity dva servomotory AKM 23 F od výrobce Kollmorgen (obr. 19). Nejdůležitějším parametrem pro volbu servomotoru je jeho výkon. Ostatní parametry (tab. 4) jsou potřebné zejména pro volbu převodovky. [15]

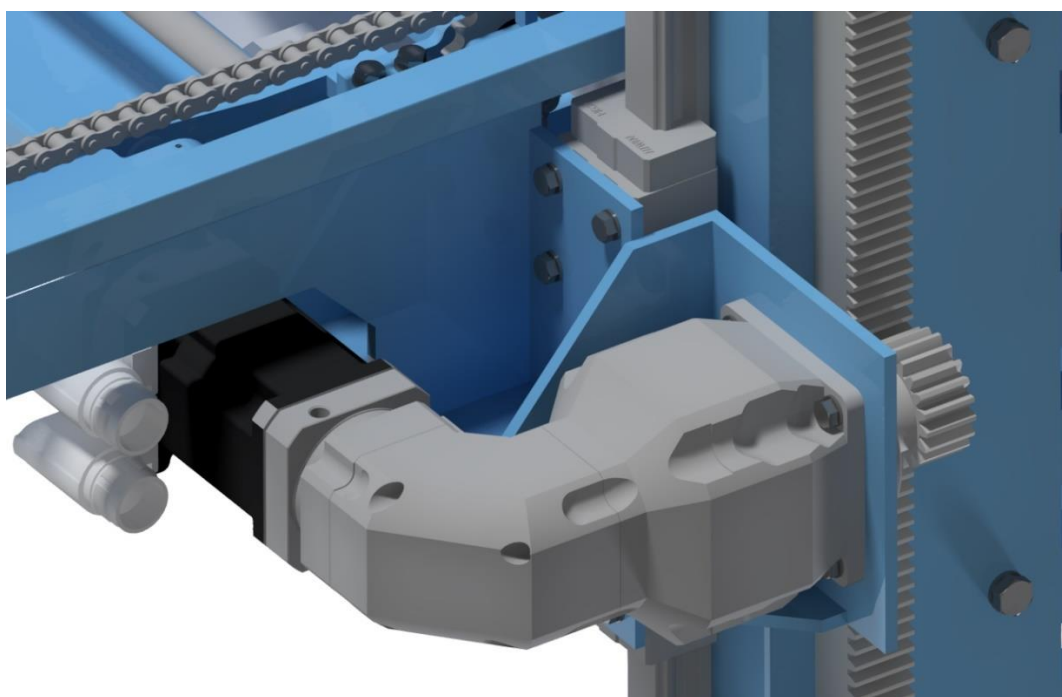
Výpočet výkonu:

$$P_M = \frac{F_M}{2} \cdot v_{max} = \frac{3053}{2} \cdot 0,3 = 458\text{ W}$$

Tab 4) Parametry zvoleného motoru [15]

Kollmorgen AKM 23 F

Kroutící moment	Rychlost	Maximální výkon
1,07 N·m	4500 min ⁻¹	500 W



Obr. 19) Pohled na pohon zakladače palet

5.3.3 Planetová převodovka

Hlavní funkcí převodovky je změna otáček a krouticího momentu motoru. Ze zástavbových důvodů je zvolena úhlová planetová převodovka. Volba konkrétního typu z nabídky firmy APEX DYNAMICS závisí na kompatibilitě se servomotorem a převodovým poměru. [16]

Výpočet požadovaného momentu na výstupní hřídeli:

$$M_V = \frac{F_M}{2} \cdot \frac{d_P}{2} = \frac{3053}{2} \cdot \frac{0,04}{2} = 30,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Teoretický převodový poměr:

$$i_{t1} > \frac{M_V}{M_M} = \frac{30,5}{1,07} = 28,5$$

Z nabídky je zvolena převodovka AFR 075 s převodovým poměrem $i_1 = 30$.

Kontrola dosažitelnosti otáček pastorku:

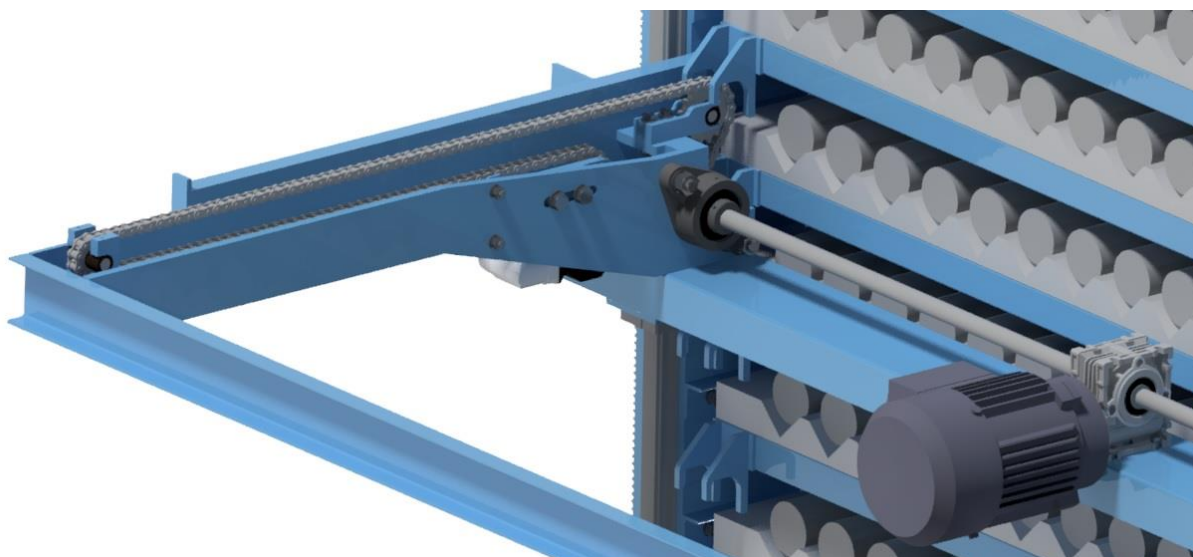
$$n_P = \frac{v_{max}}{\pi \cdot d_P} = \frac{0,3}{\pi \cdot 0,04} = 2,387 \text{ s}^{-1} = 143,2 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{M1} = i_1 \cdot n_P = 30 \cdot 143,2 = 4296 \text{ min}^{-1} < 4500 \text{ min}^{-1}$$

Motor umožňuje dosažení požadované rychlosti zakladače.

5.4 Posuv palet

Zakládání palet do regálu je řešeno řetězovými převody. Na řetězech jsou čepy, které pohybují paletami mezi zakladačem a regálem. Převody jsou poháněny jedním uprostřed umístěným motorem se šnekovou převodovkou prostřednictvím hřídelí (obr. 20).



Obr. 20) Posuv palet

Řetězový převod:

Maximální navržená rychlost pohybu palety při horizontální manipulaci je $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Z této rychlosti je stanovena rychlost otáčení patnáctizubého hnacího řetězového kola (obr.21). Volen je válečkový řetěz 06 B-1-150 s roztečí $p = 9,525 \text{ mm}$. [17]

$$n_K = \frac{v_P}{z \cdot p} = \frac{0,1}{15 \cdot 0,009525} = 0,67 \text{ s}^{-1} = 42 \text{ min}^{-1}$$

Zvolený motor:

Pro pohyb s paletami je zvolen asynchronní elektromotor Siemens 1LA9060-4KA92 o výkonu 120 W a jmenovitých výstupních otáčkách 1390 min^{-1} . [18]

Zvolená převodovka:

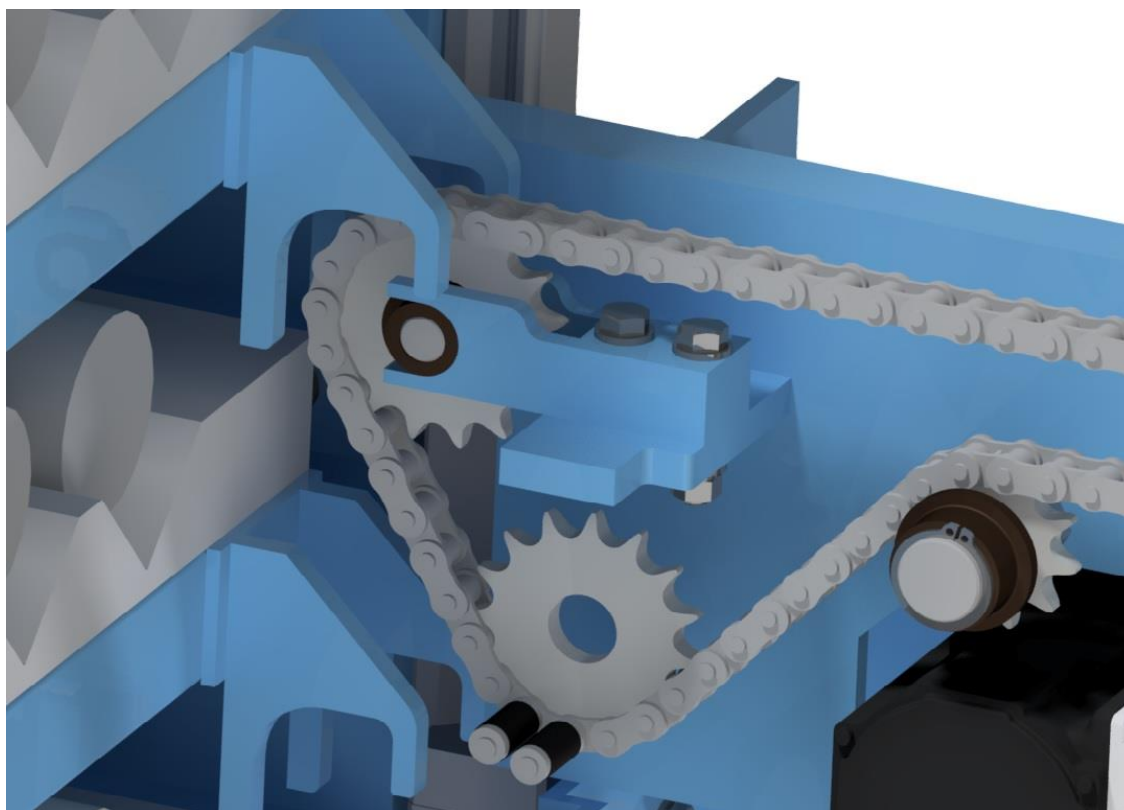
Redukce otáček a transformace pohybu na hnací řetězová kola je prováděna šnekovou převodovkou CMIS 026 od firmy TRANSTECNO. Ta je nabízena s různými převodovými poměry. [19]

$$i_{t2} > \frac{n_{MJ2}}{n_K} = \frac{1390}{42} = 33,1$$

Z nabídky je zvolena převodovka CMIS 026 s převodovým poměrem $i_2 = 30$.

Skutečné otáčky motoru:

$$n_{M2} = i_2 \cdot n_K = 30 \cdot 42 = 1260 \text{ min}^{-1}$$



Obr. 21) Mechanismus zakládání palet

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Při stavbě strojních zařízení je důležité nejen jejich technické provedení, ale také ekonomické hledisko. Tím je zejména cena a provozní náklady. Cena musí odpovídat požadavkům, pro které je zařízení konstruováno. Proto je v této kapitole proveden přibližný výpočet výrobních nákladů, který je možné porovnat s podobnými výrobky na trhu.

6.1 Výpočet ceny

V nákladech je zahrnuta cena materiálu [20], kupovaných součástí, náklady na montáž a technologické operace [21]. Výpočet je pouze orientačního charakteru, protože závisí na konkrétních cenových nabídkách jednotlivých výrobců (tab. 5 a 6).

Tab 5) Náklady na stavbu rámu

Podsestava	Díl	Výskyt	Cena za jednotku [Kč]	Celková cena [Kč]
Pravý a levý rám	U profil	4 ks	5 750	23 000
	Pásový plech	2 ks	1 170	2 340
	L profil	112 ks	30	3 360
	Spojovací materiál	-	5 560	5 560
	Ozubený hřebek	2 ks	4 000	8 000
	Lineární vedení	2 ks	8 320	16 640
	Díry	1 292 ks	10	12 920
	Lakování	13,9 m ²	300	4 170
	Montáž	33 hod	300	9 900
	Frézování	5 hod	1 500	7 500
Propojení rámu	Podložka	4 ks	20	80
	Příložka	8 ks	10	80
	U profil	4 ks	560	2 240
	Pásový plech	4 ks	100	400
	Obdélníkový plech	2 ks	15	30
	Koncový spínač	4 ks	1 300	5 200
	Referenční spínač	1 ks	2 500	2 500
	Spojovací materiál	-	1 060	1 060
	Lakování	2,9 m ²	300	870
	Díry	20 ks	10	200
	Svařování	2 hod	400	800
	Montáž	5 hod	300	1 500
Celkem				108 350

Tab 6) Náklady na stavbu zakladače

Podsestava	Díl	Výskyt	Cena za jednotku [Kč]	Celková cena [Kč]
Rám zakladače	Plechý	1 ks	940	940
	U profil	1 ks	250	250
	Vypalování, vrtání	-	3 400	3 400
	Svařování	20 hod	400	8 000
	Frézování	2 hod	1 500	3 000
	Lakování	1,3 m ²	300	390
Díly zakladače	Servomotor	2 ks	25 000	50 000
	Planetová převodovka	2 ks	18 000	36 000
	Asynchronní motor	1 ks	1 900	1 900
	Šneková převodovka	1 ks	5 800	5 800
	UCFL 202	2 ks	110	220
	Řetěz	2 ks	550	1 100
	Hřídel	2 ks	2 600	5 200
	Řetězové kolo	8 ks	50	400
	Spojovací materiál	-	120	120
	Napínání řetězu	2 ks	1 000	2 000
	Ozubené kolo	2 ks	400	800
	Řídící systém	-	40 000	40 000
	Montáž, seřízení	60 hod	300	18 000
Celkem				177 520

Cena regálového zásobníku podstatně závisí na paletách, kterými bude osazen. Přibližné výrobní náklady velkých palet byly stanoveny konzultací s firmou APM Engineering, s. r. o. na 12 000 Kč a malých palet na 8000 Kč. [21]

Do ceny (v tabulkách uvedených bez DPH) je třeba také započítat náklady na konstrukci, tvorbu technologických postupů a provedení automatizace. Proto jsou náklady navýšeny o 40 %. Výpočet koncové ceny zásobníku² v konfiguraci 28 palet proto bude vypočítána následovně:

$$c = (c_r + c_z + n_m \cdot c_m + n_v \cdot c_v) \cdot k \cdot d$$

$$c = (108\,350 + 177\,520 + 28 \cdot 12\,000) \cdot 1,4 \cdot 1,21 = 1\,053\,500 \text{ Kč}$$

² kde: c = celková cena, c_r = cena rámu, c_z = cena zakladače, c_m = cena malé palety, c_v = cena velké palety, n_m = počet malých palet, n_v = počet velkých palet, k = koeficient dalších nákladů a zisku, d = koeficient pro výpočet včetně DPH

6.2 Porovnání s nabídkou od firmy Kardex

Zda je předpokládaná cena úměrná parametrům lze vyhodnotit porovnáním s nabídkou jiných výrobců. Ceny skladovacích zařízení ale nejsou běžně dostupné, a proto není přímé srovnání možné. Pro porovnání je využito cenové rozpětí rotačních regálových zásobníků z katalogu firmy Kardex s podobnými technickými parametry. [22]

Nabídka se pohybuje v přepočtu mezi 1 100 000 Kč až 1 300 000 Kč. Z tohoto rozmezí se dá usoudit, že cena konstruovaného zásobníku je přijatelná. Její cenu navyšují zejména palety, protože jsou speciálně konstruovány na tyčové polotovary podle zadání. Pro účely robotické manipulace jsou také vyšší nároky na přesnost než v běžných skladovacích systémech. [23]

7 ZÁVĚR

V první části byly rozebrány parametry skladovaných polotovarů a navrženy systémové palety pro jejich orientované uskladnění. Pro skladování byly palety navrženy ve čtyřech velikostech, aby je bylo možné efektivně využít podle aktuálních požadavků výroby. Dále byla provedena rešerše možností realizace robotické manipulace. Ta je navržena s využitím paralelních chapadel, a to buď jednoho univerzálního nebo kombinací tří menších s využitím automatického výměnného systému.

V druhé části byly porovnávány dvě různé koncepce regálových zásobníků. Na základě hodnotících parametrů byla zvolena varianta vertikálního výtahového zásobníku. Tato koncepce byla poté podle rozměrových možností zkonstruována v podobě počítačového 3D modelu. Součástí návrhu je také výpočtová zpráva, ekonomické zhodnocení a výkres zakladače palet.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HLAVENKA, Bohumil. *Manipulace s materiálem: systémy a prostředky manipulace s materiálem*. Vyd. 4. v Akademickém nakladatelství CERM. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 164 s. : il., tabulky, grafy. ISBN 978-80-214-3607-7.
- [2] HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vyd. Brno: CCB, 1995, 265 s. : il. ISBN 80-85825-10-4.
- [3] MATIČKA, Robert a Jaroslav TALÁCKO. *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1991, 269 s. : obr., tab., schémata ; 25 cm. ISBN 80-03-00567-1.
- [4] SCHUNK Parallel gripper. *SCHUNK* [online]. b.r. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_en/gripping-systems/category/gripping-systems/schunk-grippers/parallel-gripper/
- [5] FESTO Chapadla. *FESTO* [online]. b.r. [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_010800
- [6] SCHUNK Angular gripper. *SCHUNK* [online]. b.r. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_en/gripping-systems/category/gripping-systems/schunk-grippers/angular-gripper/
- [7] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016, 787 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [8] SCHUNK Change systems. *SCHUNK* [online]. b.r. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_en/gripping-systems/category/gripping-systems/robot-accessories/changing/change-systems/
- [9] MICRO-EPSILON Měřené veličiny. *MICRO-EPSILON* [online]. b.r. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://www.micro-epsilon.cz/applications/areas/>
- [10] MICRO-EPSILON 2D/3D Měření. *MICRO-EPSILON* [online]. b.r. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: https://www.micro-epsilon.cz/2D_3D/laser-scanner/
- [11] Kardex Remstar Megamat RS. *Kardex Remstar* [online]. b.r. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.kardex-remstar.cz/cz/automatizovane-skladove-systemy/vertikalni-vytahove-systemy.html>
- [12] VIDIR - vertical storage solutions. *VIDIR* [online]. b.r. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.storevertical.com/products/automated-storage/sheet-metal-vertical-lift>
- [13] HIWIN vozík HGH. *HIWIN* [online]. b.r. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-hg-qh/17_vozik-hgh

- [14] Güdel - rack and pinion. *Güdel* [online]. b.r. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.gudel.com/products/rack-and-pinion>
- [15] RAVEO AMK AC servomotory. *RAVEO* [online]. b.r. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/AKM-servomotory#>
- [16] RAVEO - APEX AFR. *RAVEO* [online]. b.r. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/apx-AFR>
- [17] SHIGLEY, Joseph, Charles MISCHKE a Richard BUDYNAS, Miloš VLK, ed. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [18] SIEMENS elektromotory. *Elektromotory moravec* [online]. b.r. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.elektromotory.net/siemens/1le1-1500-otacek/1le1001-0bb22-0-12kw-1390ot.html>
- [19] Šnekové převodovky - řada CM. *RAVEO* [online]. b.r. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/snekove-prevodovky-CM>
- [20] Kondor - hutní materiál. *Kondor* [online]. b.r. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz>
- [21] APM Engineering. *APME* [online]. b.r. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.apme.cz>
- [22] Kardex-remstar: Megamat RS 350. *Kardex-remstar* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.kardex-remstar.cz/cz/automatizovane-skladove-systemy/vertikalni-karuselovy-sklad/megamat-rs-350.html>
- [23] Kardex-remstar-RS 350 price book. *Kardex-remstar* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.kardexremstar.com/fileadmin/user_upload/kardex-remstar/pdf/usa/landingpages-2013/RS350-Commercial-Price-Book-January-2013.pdf

9 SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A SYMBOLŮ

9.1 Seznam tabulek

TAB 1)	ROZDĚLENÍ POLOTOVARŮ PODLE POŽADAVKŮ VÝROBY.....	17
TAB 2)	VYBRANÉ KONCOVÉ EFEKTORY OD VÝROBCE SCHUNK [4].....	24
TAB 3)	ZHODNOCENÍ KRITÉRIÍ.....	33
TAB 4)	PARAMETRY ZVOLENÉHO MOTORU [15]	38
TAB 5)	NÁKLADY NA STAVBU RÁMU.....	41
TAB 6)	NÁKLADY NA STAVBU ZAKLADAČE	42

9.2 Seznam obrázků

OBR. 1)	NÁVRH PROVEDENÍ PRIZMATICKÉHO DRÁŽKOVÁNÍ	18
OBR. 2)	PROFILY PALET PRO VŠECHNY ROZMĚROVÉ ŘADY.....	18
OBR. 3)	VELKÝ RÁM S DRÁŽKOVÁNÍM PRO CELKOVOU ŘADU	19
OBR. 4)	MALÝ RÁM S DRÁŽKOVÁNÍM PRO STŘEDNÍ ŘADU	19
OBR. 5)	PARALELNÍ CHAPADLO ŘADY PGN-PLUS [4].....	22
OBR. 6)	TŘÍBODOVÉ CHAPADLO DHDS OD FIRMY FESTO [5]	22
OBR. 7)	ÚHLOVÉ CHAPADLO ŘADY SGB OD VÝROBCE SCHUNK [6].....	23
OBR. 8)	PNEUMATICKÝ VÝMĚNNÝ SYSTÉM GWS [8]	25
OBR. 9)	MĚŘENÍ DÍLU SNÍMAČEM OD FIRMY MICRO-EPSILON [9].....	26
OBR. 10)	ZÁSTAVBOVÝ PROSTOR.....	27
OBR. 11)	VERTIKÁLNÍ KARUSELOVÝ ZÁSOBNÍK [11]	28
OBR. 12)	VERTIKÁLNÍ VÝTAHOVÝ ZÁSOBNÍK [12]	29
OBR. 13)	MANIPULACE S POLOTOVAREM.....	30
OBR. 14)	SCHÉMA VERTIKÁLNÍHO ROTAČNÍHO ZÁSOBNÍKU	31
OBR. 15)	SCHÉMA VERTIKÁLNÍHO VÝTAHOVÉHO ZÁSOBNÍKU	32
OBR. 16)	MONTÁŽNÍ CELKY REGÁLOVÉHO ZÁSOBNÍKU	35
OBR. 17)	SCHÉMA SIL PŮSOBÍCÍCH NA ZAKLADAČ.....	36
OBR. 18)	KULIČKOVÉ LINEÁRNÍ VEDENÍ HGH OD FIRMY HIWIN [13]	37
OBR. 19)	POHLED NA POHON ZAKLADAČE PALET	38
OBR. 20)	POSUV PALET.....	39
OBR. 21)	MECHANISMUS ZAKLÁDÁNÍ PALET	40

9.3 Seznam symbolů

Symbol veličiny	Název veličiny	Jednotka
a_{\max}	Maximální zrychlení zakladače	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$
C_{dyn}	Dynamická únosnost vozíku	[N]
d_P	Roztečný průměr pastorku	[m]
F_A	Síla v horních vozících	[N]
F_B	Síla v dolních vozících	[N]
F_{DO}	Dovolená síla v ozubení	[N]
F_G	Gravitační síla působící na zakladač	[N]
F_M	Zvedací síla motorů	[N]
G	Gravitační zrychlení	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$
i_1	Skutečný převodový poměr planetové převodovky	[-]
i_2	Skutečný převodový poměr šnekové převodovky	[-]
i_{t1}	Teoretický převodový poměr planetové převodovky	[-]
i_{t2}	Teoretický převodový poměr šnekové převodovky	[-]
k_{LV}	Bezpečnost lineárního vedení k dovolenému zatížení	[-]
k_O	Bezpečnost ozubení k dovolenému zatížení	[-]
L_1	Vzdálenost těžiště od lineárního vedení	[m]
L_2	Vzdálenost středu pastorku od lineárního vedení	[m]
L_3	Vzdálenost středu vozíků	[m]
M_M	Krouticí moment servomotoru	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
m_{\max}	Maximální hmotnost naloženého zakladače	[kg]
M_V	Požadovaný krouticí moment na výstupní hřídeli	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
n_K	Otáčky hnacího řetězového kola	$[\text{s}^{-1}]$
n_{M1}	Otáčky servomotoru	$[\text{s}^{-1}]$
n_{M2}	Skutečné otáčky asynchronního elektromotoru	$[\text{s}^{-1}]$
n_{MJ2}	Jmenovité otáčky asynchronního elektromotoru	$[\text{s}^{-1}]$
n_P	Otáčky pastorku	$[\text{s}^{-1}]$
p	Rozteč válečkového řetězu	[m]
P_M	Požadovaný výkon motoru	[W]
v_{\max}	Maximální rychlost zakladače	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
v_P	Rychlost pohybu palety	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
z	Počet zubů hnacího řetězového kola	[-]

10 SEZNAM PŘÍLOH

Obrázky modelu regálového zásobníku

Výrobní výkres rámu zakladače

CD s modelem regálového zásobníku ve formátu STEP

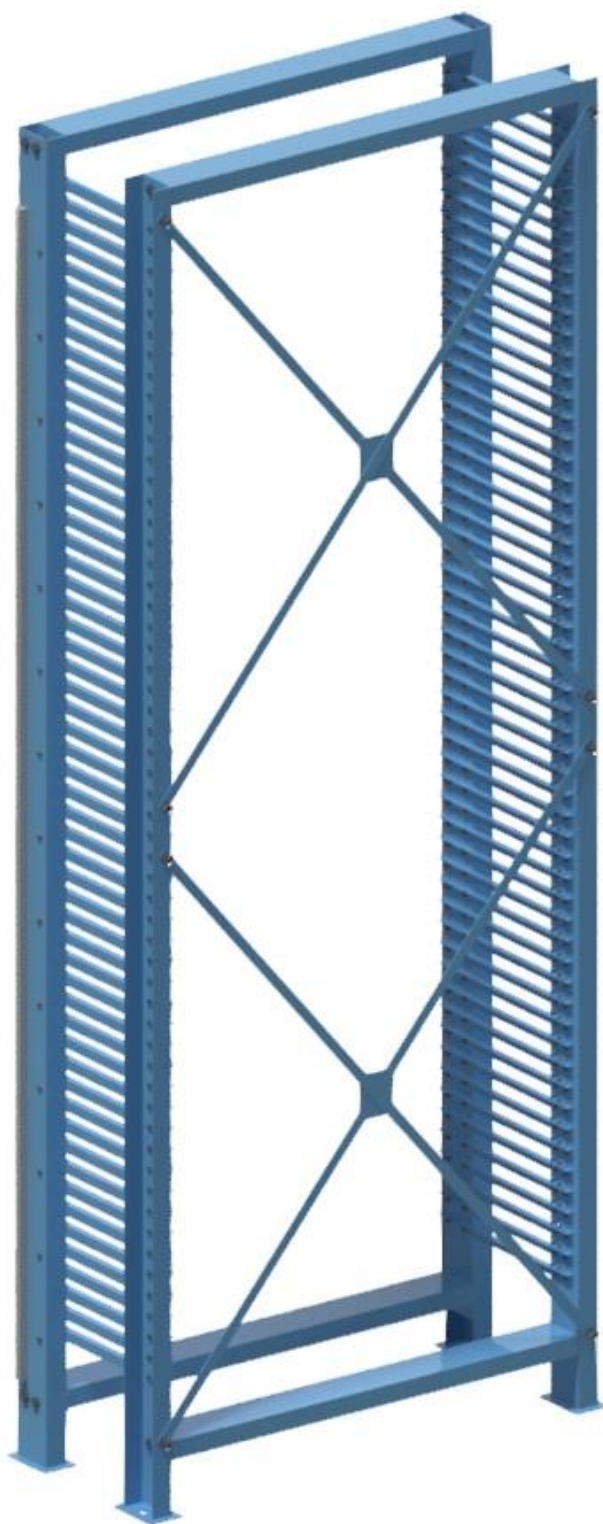
OBRÁZKY MODELU REGÁLOVÉHO ZÁSOBNÍKU



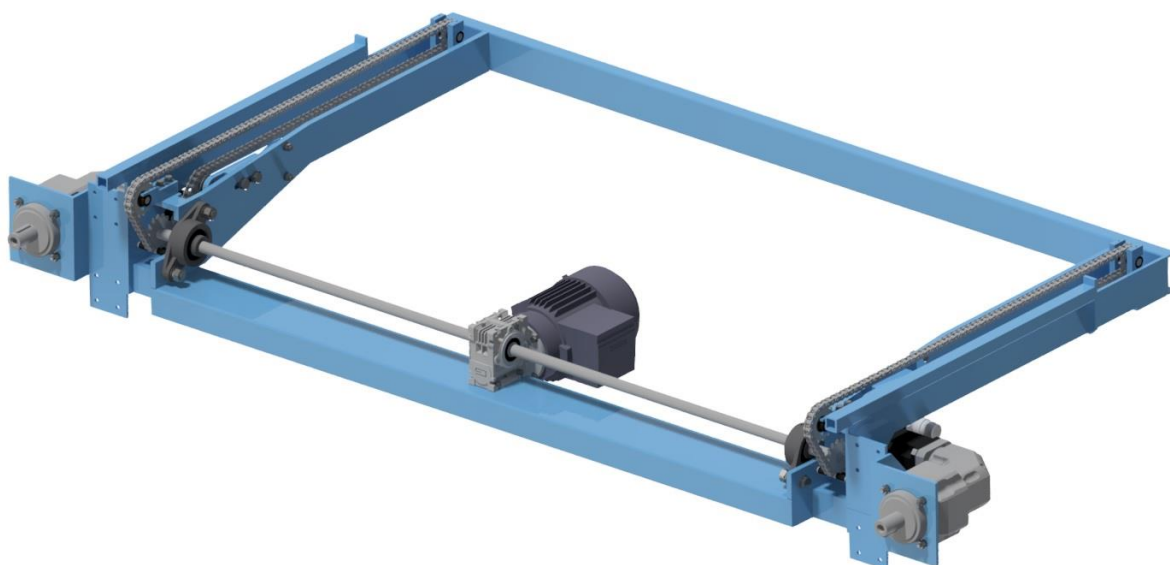
Obrázek P1: Robotizované pracoviště



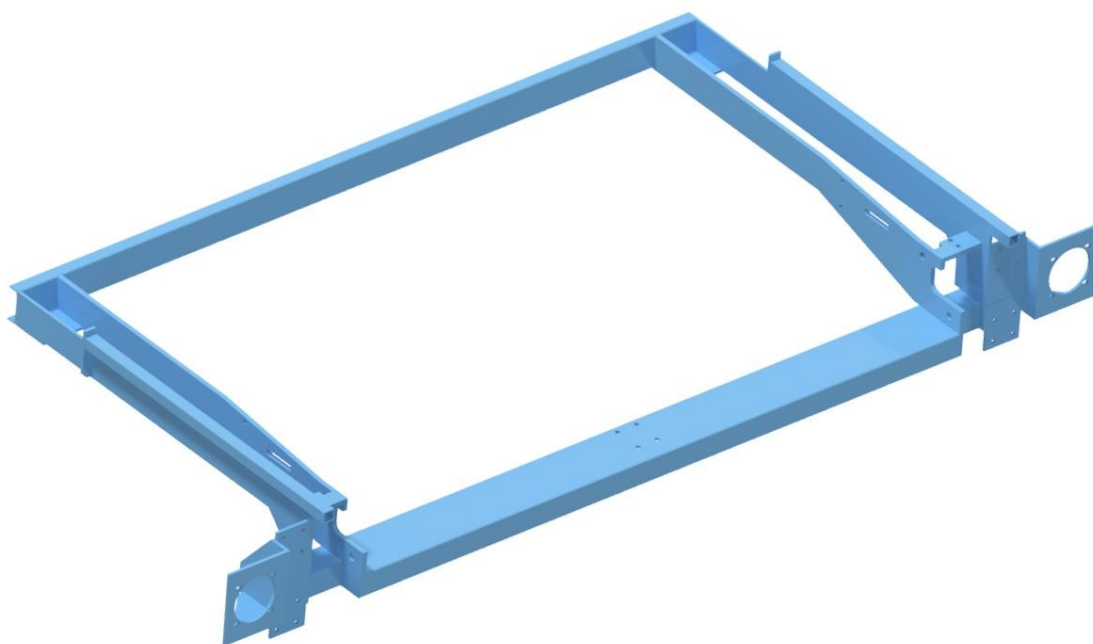
Obrázek P2: Regálový zásobník



Obrázek P3: Rám zásobníku



Obrázek P4: Zakladač palet



Obrázek P5: Rám zakladače palet